アルミニウム圧延板の方向性におよぼす 添加元素の影響 (その2)

Fe, Mg, Ti の 影 響

森永 卓一** 室町 繁雄*** 財満 鎮雄****

On the directionality of aluminium sheet affected by added element (Part 2)

(UDC 539. 4. 061. 2 : 669—122 : 669. 71)

The effect of Fe, Mg and Ti

MORINAGA Takuichi**, MUROMACHI Shigeo***, ZAIMA Shigeo****

Following to the first report, the effect of Fe, Mg, and Ti added elements to aluminium on the control of directionality of sheet is studied. The results are as follows:

(1) By adding Fe, the directionality can not be controlled, and the recrystallization temperature of aluminium sheet is slightly lowered this fact thus agrees with the finding mentioned in the previous reports.

(2) When Mg is added in aluminium within the range of 1.0~3.5 %, the directionality can be softened or eliminated and is insensible and stable considerably in spite of the change in the annealing temperature, therefore Mg is an effective element for controlling the directionality. The hardness increases when it is added and even after softening the hardness does not decrease much.

It seems that the recrystallization temperature gets slightly down.

(3) It is possible that the directionality eliminated by adding Ti, but this temperature range is narrow, so Ti is not so effective element.

The recrystallization temperature goes to upward by adding it.

(Received Dec. 19, 1960)

1. 緒 言

前報に¹⁾引き続きアルミニウム圧延板の方向性の消去あるいは調節の見地より Fe, Mg および Ti を添加元素として利用した場合の効果について検討した。

2. 試料および実験条件

Table 1 に示すように、それぞれ 99.99% アルミニウム素塊に少量の Fe, Mg および Ti を添加した $20 \times 100 \times 110 \text{ mm}^3$ の鋳塊を鋳込み、面削後 550°C 4 時間焼なましを行なつて、4 mm まで一方向冷間圧延を施し、 530°C 2 時間中間焼なまし後さらに一方向冷間圧延によつて 1 mm に仕上げた。

$270 \sim 500^\circ\text{C}$ の範囲の所定の温度に 1 時間焼なましして、前報と同様に圧延方向 (0° -方向) 45° -および 90° -方向におけるヌーブ比を求め、また軟化曲線より再結晶

Table 1 Amount of added element

Added element	Amount (%)
Fe	0.1
	0.3
	0.6
Mg	1.0
	2.0
	3.5
Ti	0.2
	0.5
	1.5

* 本報告は一部軽金属研究会第19回秋期大会 (35-11-15) において講演した。

** 東京工業大学教授 工博 Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*** 富山大学工学部教授 工博 Prof., Faculty of Engineering Toyama University, Dr. Eng.

**** 山梨大学工学部助教授 Assist Prof., Faculty of Engineering Yamanashi University

温度を定めて、そのやや上の温度で焼なましした圧延板の引張試験によつて伸びによる方向性を求めた。

3. ヌーブ比

3.1 Fe 添加の場合

焼なまし温度の上昇に伴うヌーブ比 (L/l) の変化を 0° 、 45° および 90° 方向について求めれば Fig.1 のようになる。0.1% Fe 添加ではヌーブ比は 6.0~7.0 の間で変動しているが、各温度において 0° -あるいは 90° -方

Fig.1 Changes of Knoop ratio (L/l) in the case of Fe adding.

Fig. 2 Softening curve in the case of Fe adding.

向のヌーブ比が上方にあり、その方向性が強い。0.3% Fe になると、 $280\sim 310^\circ\text{C}$ 附近で一度ヌーブ比は減少するが 330°C 附近で急に増加し、また次第にゆるやかに減少する。方向性はやはり 0° -あるいは 90° -方向におけるヌーブ比が高く、その方向が優位にある。しかし、0.3~0.4% Fe 程度は 2S などでは、普通に認められる程度でとくに添加元素として挙げるまでもないものである。Fe 0.6% 添加となると 260°C 焼なましではかなり低いヌーブ比をとるが、温度の上昇とともに急激に増加し 330°C 附近で極大値をとつてゆるやかに減少し再び増加する。傾向は 1S の場合¹⁾と似ているが全体として変化がより低温側になぜかしているようである。その際の方向性も各温度において 0° -あるいは 90° -方向が高く、その方向で方向性の強いことを示している。軟化曲線は Fig.2 のようになり、これから求めた軟化点よりやや高い温度 370°C 1 時間焼なましの場合のそれぞれの方向における伸び δ の変化は Fig.3 のようになる。Fe 添加によつて軟化後の硬さはかなり低くなり、また添加による伸びの減少も少ない。前報でも示したように、ヌーブ比の変化と軟化曲線は相互関係にあり、ヌーブ比の変化によつても再結晶温度を確認することができることが判つた。五弓氏の再結晶温度におよぼす添加元素についての詳細な報告²⁾によれば、Fe はいわゆる「第 1 群 (純 Al に比して再結晶温度がとくに低下するもの) の元素」に属し、0.3~1.7% Fe によつて再結晶温度は低下するとされたが、この場合それと同結果で 1S に比べ再結晶温度は低下した。また、Fe はとくに Si などとの成分割合によつ

Fig.3 Directionality detected by the elongation δ in the case of Fe adding.

ても方向性に微妙な影響を与えることは周知³⁾のことである。

3.2 Mg 添加の場合

Mg 添加の場合のヌーブ比の変化は Fig.4 のようになる。Mg 量が1.0%, 2.0%, 3.5%と増加するに従い、各方向におけるヌーブ比の変化は前記 Fe が0.1%, 0.3% 0.6% と増加する際とつた変化傾向と類似しているが、全体としてヌーブ比は Fe の場合より低い。また方向性は Mg 1.0%, 2.0% の場合は、温度によつて方向が優位ある場合もあり、0°-あるいは90°-方向が大きい場合も多いが、3.5% Mg になると大体において45°-方向が優位にある。

軟化曲線は Fig.5 のようになり、添加による硬さの上昇も大きく、軟化後の硬さも高い。このことは池野氏らも指摘されているところ⁴⁾であるが、再結晶後の伸びの変化を求めれば370°C 1時間焼なましの場合 Fig.6 のようになった。添加による伸びの減少はかなり認められるが、深絞り能は 0.5% Mg 程度では余り劣化が認められないといわれている⁴⁾。この場合も Fig.5 は Fig.4 と相反的關係にあり、軟化点(再結晶温度)など両者を比べて比較的明確に決めることができる。Mg は前記五弓氏²⁾によれば、いわゆる「第3群」に属し、再結晶温度の移動は少ないとされ、また五十嵐氏ら⁵⁾は Mg はわずかに再結晶温度を低下させるとされたが、Fig.5 も 1 S に比べわずかに再結晶温度は低下するようであった。

3.3 Ti 添加の場合

Ti 添加の場合のヌーブ比の変化は Fig.7 に示すとおりである。0.2% Ti 添加ではヌーブ比はややゆるやかな上

昇型をとつたが、330°C 附近になるとあまり増加は認められなくなる。0.5% になるとさらになだらかな増加がより高い温度までのび 350°C 付近で極大値をとり、1.5% Ti となれば極大値をとる温度は 400°C 付近まで上昇

Fig. 5 Softening curve in the case of Mg adding.

Fig. 4 Changes of Knoop ratio (L/l) in the case of Mg adding.

Fig. 6 Directionality detected by the elongation δ in the case of Mg adding.

し、その際のヌーブ比はかなり高い値を示す。それぞれの温度でヌーブ比最大の方角は 0° -あるいは 90° -方向が多いが、焼もどし温度の上昇の途中で $300\sim 350^\circ\text{C}$ の間で各場合とも一旦 45° -方向が優位になることがあるが、その温度範囲は狭い。

軟化曲線は **Fig.8** に示すとおりで、それから定めた再結晶温度後の 390°C の1時間焼なましの場合の伸びの変化は **Fig.9** のようになる。前記五弓氏²³⁾ の $0.02\sim 1.0\%$ Ti について調べられた結果によれば、Ti はいわゆる「第2群（純Alに比べ再結晶温度がとくに上昇するもの）に属する元素」で、Ti 添加で軟化曲線は傾斜し、再結晶温度も上昇するといわれているが、**Fig.8** でもそ

Fig. 7 Changes of Knoop ratio (L/l) in the case of Ti adding.

Fig. 8 Softening curve in the case of Ti adding.

の傾向が認められこともうなずけることである。伸び曲線からもみるようにTi添加によつてやや伸びは低下するようであり、この場合は 0° -あるいは 90° -方向でとくに伸びは低下したが、**Fig.7**では 390°C 焼なましの点を求めてなかつたのではつきりした対応は求められなかつた。

4. 耳の発生の予想

焼なまし温度 T の上昇に伴うヌーブ比の比 m の変化を最大ヌーブ比を示す方向に求めた。ただし m は次式による。

$$m = \frac{(L/l)_{\max} - (L/l)_{\text{mean}}}{(L/l)_{\text{mean}}} (\%) \dots (1)$$

ここで $(L/l)_{\max}$ は 0° -, 45° -および 90° -方向における

Fig. 9 Directionality detected by the elongation δ in the case of Ti adding.

Fig. 10 Relation between the ratio m and the annealing temperature T in the case of Fe adding

ヌーブ比のうち最大ヌーブ比, (L/L)mean はその3方向ヌーブ比の平均値である。然る時は2 S板については比 m が耳の発生 e (%)と直線関係にあり

$$m = 0.36.e \dots \dots \dots (2)$$

が成立した⁶⁾。従つて、比 m を求めれば実際に深絞り試験を行なわなくとも、 m の値によつて耳の発生傾向について予想ができることになる。

4.1 Fe 添加の場合

Fe 添加によるヌーブ比の m 比と焼なまし温度 T との関係は Fig.10 に示ようになる。Fe 量の増加にかかわらず常に m -曲線は 0° -あるいは 90° -方向で優位であり、1 S の再結晶温度附近での m -曲線を低下させる効果はみられるが、これは前述のように Fe 添加が再結晶温度をやや低下させる結果と思われる。何れにしても実験範囲の Fe 添加では m -曲線の調節は十分でなく、従つて耳の発生の緩和についても有効な成分とはいえないようであつた。網谷氏は冷間加工度84~99%の圧延板を 280~360°C で焼なましした深絞り試験の結果⁷⁾、Fe 0.2% 以上では 45° - e を生ずるのみで $45^\circ \rightarrow 90^\circ$ の変化はみられなかつたとされたが、この場合と加工条件の相違があるためか、耳の発生の優位な方向はことなるがその後の転向が認められないという点では一致した。

Fig. 11 Relation between the ratio m and the annealing temperature T in the case of Mg adding.

Fig. 12 Relation between the ratio m and the annealing temperature T in the case of Ti adding.

4.2 Mg 添加の場合

Mg 添加による比 m と焼なまし温度 T の関係は Fig.11 になる。1.0% Mg 添加で比 m は 0° -あるいは 90° -方向で優勢であつたものが、330~400°C の範囲で 45° - m と転向し、その後再び 0° -あるいは 90° - m に変化するようになり、Mg 2.0% になると T が低い領域から 45° - m がみられるようになり、さらに Mg 3.5% と増加すれば、図にみるようになかりの温度領域で 2.0% の 45° - m が安定しているようである。

前報¹⁾でも取扱つたように、仮りにこの場合も(2)式の定数があてはまるものとすれば、実用上の earless の条件を 4~5% e として m は 2% 以内におさまるのが望ましく、 45° -方向および 0° -あるいは 90° -方向の 2.0% の線を下限・上限とした限界を考えた際、その範囲に該当する m -曲線の温度範囲も広く、極めて安定した添加元素であることが判る。

4.3 Ti 添加の場合

Ti 添加による比 m と焼なまし温度 T の関係は Fig.12 を示す。 0° -あるいは 90° - m が優勢であつたものが、0.2% Ti の添加により 350°C 前後で一時的に 45° - m に転向するが、再び 0° -あるいは 90° - m に変化する。0.5% 添加となれば前者と同傾向の変化を示すが、 45° - m に転向する焼なまし温度が 310°C 附近に下り、さらに Ti 1.5% と増

Fig. 13 Ratio m in adding the element.

加すればその一時的な転向温度が290°C附近となり、より低温の方へ移行するようである。何れにしても焼なまし温度によつては前述の earless の $\pm 2.0\%$ m の限界内にある場合も認められるが、温度範囲も狭く不安定で、添加元素としては望ましい結果は得られなかつた。

5. Fe, Mg および Ti の添加効果

以上, Fe, Mg および Ti の添加がアルミニウム圧延板の方向性に及ぼす影響を求めた結果

(1) Fe 添加では方向性の消去は望めなかつた。ただし Fe は普通 2 S などでは 0.3~0.4% の含有が認められる処であり, Fe : Si などのように他成分との割合によつて方向性に及ぼす効果もことなり, それらのことも考慮する必要のあることは勿論である。また, Fe 添加はアルミニウム圧延板の再結晶温度をやや低下させる効果があり, これは従来の結果と一致した。

(2) Mg 添加では実験範囲の 1.0~3.5% 添加で方向性の緩和あるいは消失が可能で, 焼なまし温度に対する変化も敏感ではなく比較的安定しているので, 添加成分として有効である。添加による硬さの上昇も高く軟化後の硬さはやや高い。再結晶温度は添加によつてやや低下するようである。

(3) Ti 添加では方向性の消失は可能ではあるが, 温度領域は狭く, 有効な元素とはいえなかつた。再結晶温度は添加によつて上昇する。

6. 結 論

(28頁より続く)

(1) Mn 添加では方向性の消失は可能であるが, 添加量と焼なまし温度によつて方向性の変化敏感で, かつ添加量の増加による伸びの減少も甚だしく, 添加元素としては好ましくなかつた。

また, Mn 添加によつて圧延板の再結晶温度はかなり上昇し, 従来報告と一致した。

(2) Sn は添加量の増加により方向性を調節することができ焼もどし温度の変化による変動も少なく安定性があつた。添加による伸びの減少も少なく, 0.5~2.0% 添加は有効であつた。

また, Sn 添加によつて圧延板の再結晶温度はかなり低下するようであつた。

参 考 文 献

1) 例えば, 網谷: 日本金属学会第45回大会講演概要

以上の結果と前報¹⁾とをまとめて, 焼なまし温度 $T = 300^\circ\text{C}$, 350°C および 400°C の場合の比 m の値を示せば Fig.13 のようになる。ここで図中 $T = 300 \sim 400^\circ\text{C}$ の m 間隔のせまいものが焼なまし温度に対して安定していることを示し, かつこの領域が $m = 0\%$ の軸を中心にした近傍にあれば (m の絶対値が小さいならば), 深絞りの際の耳の発生も少ないと予想されるものである。仮りに前述のように実用上 m の絶対値を 2.0% とすれば, 温度による m 間隔が狭く, 絶対値 2.0% 以内に納まつている添加元素は Fig.13 よりみても Sn および Mg であることが判る。

ただし, Sn は深絞り工程中再加熱工程を必要とする場合 (例えば水筒の深絞りのように) には高温亀裂を伴うことも考えられるので, 一応検討の要がある。Mg は前者のような欠陥は考えられず, またアルマイト仕上げも美しく仕上り, 耐食性を向上する⁴⁾ので有利である。

参 考 文 献

- 1) 森永, 室町, 財満: 軽金属, 11, 46 (1961)
- 2) 五弓: 日本金属学会誌, 7, 1 (1943) 7.
- 3) 例えば, W. Bunk, P. Esslinger: Z. Metallkde. 50 (1959) 278 網谷: 日本金属学会第45回大会講演概要 (34-11) 89.
- 4) 池野, 柴田: 軽金属, 10, 43 (1960) 278.
- 5) 五十嵐 (勇), 五十嵐 (全): 軽金属, 9, 35 (1959), 15
- 6) 池野, 財満, 柴田: 軽金属, 10, 4 (196),
- 7) 網谷: 日本金属学会第46回大会講演概要 (35-4), 90

(34-11), 89

- 2) T. MORINAGA, S. ZAIMA: J. of Japan Inst. of Metals, 20, 12 (1956), 651
- 3) 池野, 財満, 柴田: 軽金属, 10, 44 (1960), 317.
- 4) エツチング・ピットによる結晶粒の方向性とヌーブ圧子による方向性検出との関係について近く発表の予定であるが, 本報における結果と矛盾しない。
- 5) 五弓: 日本金属学会誌, 7, 1 (1943), 7
- 6) 五十嵐 (勇), 五十嵐 (全): 軽金属, 9, 35 (1959), 15
- 7) 池野, 財満, 柴田: 軽金属, 10, 45 (1960), 373.